

УДК 004.045: 621.396.967.2

І.В. Свид, Л.Ф. Сайківська, А.І. Обод

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПИТАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті наводиться оцінка варіанту організації інформаційного забезпечення користувачів системи контролю повітряного простору на основі спадкоємного переходу від визначення координатної інформації повітряних об'єктів запитальними системами спостереження до передачі координатної інформації повітряних об'єктів, визначеної на основі навігаційних засобів, разом з польотною інформацією по каналу передачі запитальних систем.

**Ключові слова:** інформаційне забезпечення, координатна інформація, запитальні системи спостереження.

### Вступ

**Постановка проблеми й аналіз літератури.** Основою інформаційного забезпечення (ІЗ) споживачів системи контролю використання повітряного є системи спостереження (СС), котрі поєднуються у інформаційну мережу (ІМ) [1-3]. При цьому слід зазначити, що формування формуляру ПО здійснюється за наступними процедурами:

- визначення координат ПО первинною та вторинною СС;
- неспотвореному прийомі польотної інформації (ПІ) вторинною СС;
- прив'язка ПІ до координатної інформації (КІ) ПО, визначеної вторинною СС;
- порівняння КІ отриманої первинною та вторинною СС і, за результатами котрого, формування формуляру ПО у склад якого входять:
  - КІ ПО, котра отримана первинною СС;
  - ПІ ПО, котра отримана вторинною СС.

Однак, визначення координат ПО запитальною СС, при наявності внутрішньосистемних, а також навмисних корельованих завад не завжди можливе. Це пов'язано з тим, що запитальні системи побудовані за принципом відкритої системи масового обслуговування, що дозволяє зацікавленій стороні не тільки отримувати інформацію літакових відповідачів (ЛВ), але і подавляти їх постановкою навмисних завад потрібної інтенсивності.

Виключення запитальних СС з ІЗ користувачів призводить до суттєвого зменшення безпеки польотів, а також до значних матеріальних збитків, що наглядно показала операція у Перській затоці.

При цьому слід зазначити, що поява навмисних корельованих завад [3] призводить до зменшення коефіцієнта готовності (КГ) ЛВ і, як наслідок, виключає можливість виявлення та вимір координат ПО запитальною СС. Однак відомо, що КІ на борту ПО визначається з показниками значно ліпшими у

порівнянні з показниками визначення КІ запитальною СС. У зв'язку з цим актуальними питаннями є розгляд можливостей передачі за існуючим каналом передачі запитальної СС з борту ПО крім усього ще і КІ. Це передбачає перехід у ІЗ користувачів від запитальних СС до запитальних систем передачі ПІ, з використанням сучасних методів модуляції сигналів.

**Мета роботи.** Підвищення якості інформаційного забезпечення користувачів.

### Основна частина

Підвищення імовірності ІЗ користувачів системи контролю використання повітряного простору можливе за рахунок:

- підвищення імовірності виявлення ПО вторинною СС за рахунок збільшення пачки СВ;
- переходом від запитальних СС до запитальних систем передачі ПІ.

Оцінимо можливість першого варіанту для чого розглянемо можливість виявлення ПО запитальною СС у області великих значень співвідношень  $c/z$ , при яких флуктуаційними завадами у каналах можна зневажити. У цьому випадку характеристики виявлення визначаються тільки довжиною пачки сигналів відповіді ( $N$ ) та КГ ЛВ.

Імовірності правильного виявлення пачок СВ для оптимального й квазіоптимального алгоритмів, при постійних значеннях  $N$  і  $P_0$ , сходяться до границі

$$D = \sum_{i=c}^N C_N^i P_0^i (1 - P_0)^{N-i}, \quad (1)$$

величина якого залежить від цифрового порога виявлення  $c$ .

При заданих значеннях  $D, N, c$  (1) являє собою рівняння відносно  $P_0$ . Корінь цього рівняння є граничним значенням КГ, що має такі властивості:

- якщо  $P_0$  більше за порогове значення, то для КВ запитальної СС існує таке значення співвідношення  $c/z$ , що при заданому  $P_0$  забезпечує задане значення імовірності правильного виявлення ПО;

- якщо  $P_0 < P_0^*(D, N, c)$ , то незалежно від значення співвідношення  $c/z$  у КВ низький КГ ЛВ не дозволяє ймовірності  $D$  досягти заданої величини при фіксованих  $N$  і  $c$ . На відміну від співвідношення  $c/z$  збільшення довжини пачки завжди дозволяє досягти заданої величини ймовірності  $D$  незалежно від значення  $P_0$ .

На рис. 1 наведені залежності порогового значення  $P_0$  від довжини пачки  $N$  для різних значень  $D$ . Суцільна крива відповідає порогу, що дорівнює одиниці, штрихова крива – для порога, що дорівнює двом, а ламана крива відповідає вибору цифрового порога, рекомендованого для первинних СС. Як видно з рис. 1, імовірність правильного виявлення, що дорівнює 0,95 при  $N = 12$  при виборі порога, рекомендованого для первинної СС, досягається для  $P_0 = 0.68$ , у той час як при виборі порога, що дорівнює двом ця ймовірність досягається при  $P_0 = 0.4$ .

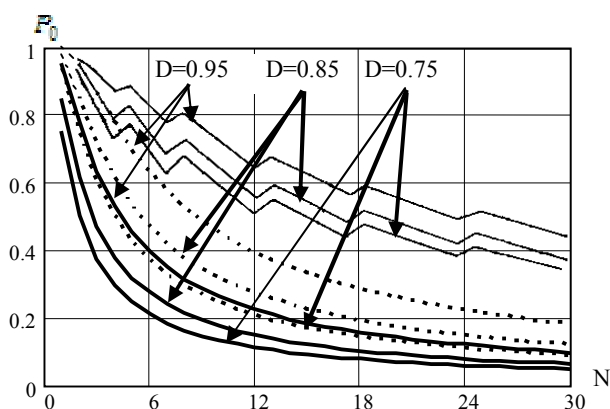


Рис. 1. Залежність  $P_0 = f(D, N)$

Таким чином, підвищення імовірнісних характеристик запитальної СС при роботі ЛВ у полі значних потоків навмисних і внутрішньосистемних завад забезпечується вибором порогів виявлення залежно від значень КГ відповідача. З іншого боку, застосування оптимальних для даних умов роботи відповідача в КЗ порогів виявлення на запитальній СС дозволяє знизити вимоги до пропускної здатності ЛВ при значних інтенсивностях потоків внутрішньосистемних і навмисних корельованих завад.

Однак збільшення пачки СВ не завжди можливе, так як воно суттєвим чином зменшує розділюючі спроможності запитальних СС.

Розгляне можливість використання КВ існуючих запитальних СС для передачі не тільки ПІ але і КІ. Будемо рахувати, що об'єм передаваної інфор-

мації, у цьому разі, дорівнює об'єму, що відповідає автоматичному залежному спостереженню [4].

Будемо вважати, що у КВ реалізуються цифрова передача інформації та сучасні методи модуляції сигналів. Для передачі інформації у цифровому вигляді використовуються системи сигналів (СС)  $\vec{X} = \|X_{si}(t)\|$ , де  $i = \overline{1, N}$ ,  $N$  – кількість сигналів.

Систему з  $N$  сигналів характеризують з допомогою функцій невизначеності (ФН). Крім того, важливою характеристикою вражається енергетична відстань між сигналами

$$D_{ij} = \int_0^T [x_{si}(t) - x_{sj}(t)][x_{si}(t) - x_{sj}(t)]^* dt, \quad (2)$$

де  $*$  – знак комплексного сполучення.

Відстань між сигналами, отримуване в точці прийому, пов'язано з імовірністю помилки на біт  $P_e$ , наприклад, для каналу Гауса і двійкової модуляції

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{\frac{D_{12}}{2N_0}} \right) \right], \quad (3)$$

де  $N_0 = kT\Delta f$  – спектральна щільність білого шуму;

$k$  – постійна Больцмана;

$T$  – шумова температура,

$\Delta f$  – полоса частот прийому;

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt - \text{функція Лапласа.}$$

Найбільш перспективними сигналами для використання у запитальних каналах передачі можуть бути:

- сигнали з фазовою модуляцією (ФМ);
- сигнали з квадратурно-амплітудною модуляцією (КАМ).

Наведемо порівняльну характеристику цим системам сигналів при використанні їх у запитальних каналах передачі інформації. Показником якості запитального каналу передачі оберемо імовірністю помилки на біт інформації (3).

Відстань між сусідніми сигналами СС з  $M = 2^k$  фазами в загальному випадку визначається наступним чином:

$$D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin(\pi/M). \quad (4)$$

Відстань між сусідніми сигналами для СС з КАМ модуляцією визначається як

$$D_{i,i+1} = \sqrt{2E} (\sqrt{M} - 1)^{-1}. \quad (5)$$

Будемо вважати, що відстань між ПО та запитувачем складає  $r$ . Тоді щільність потоку енергії, котра утворюється випроміненим сигналом у місці розміщення приймальної антени яка знаходиться на відстані  $r$  від антени, що випромінює, складе  $S_{pr} = PG/4\pi^2$ , де  $P$  - потужність передавача,  $G$  - коефіцієнт підсилення антени передавача. Потуж-

ність сигналу на вході приймача, у цьому разі, можливо записати як

$$P_p = S_p A = \frac{PGA}{4\pi^2},$$

де  $A$  – ефективна площа антени приймача.

Для виявлення сигналів необхідно, щоб відношення сигнал/шум було більше порогового. Відношення сигнал/шум можна оцінити на основі наступного виразу  $q = \sqrt{P_p / N_0}$ .

Враховуючи (3), (4) та з урахуванням швидкості кодування  $V_k = k/n$  отримуємо імовірність  $P_e$  при передачі рівномірних сигналів фазової модуляції:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{\frac{2PGA_n}{4\pi^2 N_0 k}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right]. \quad (4)$$

Використав (5) можливо отримати вираз імовірності помилки на біт інформації при використанні у запитальному каналі КАМ сигналів.

Розрахунки імовірності помилки на біт інформації при використанні фазової модуляції сигналів у каналі передачі польотної інформації запитальних систем спостереження наведено на рис. 2.

Наведені розрахунки показують задовільні імовірності помилки на біт інформації при використанні у запитальному каналі сигналів 16- та 32-PSK. При використанні КАМ сигналів ці імовірності ще значно покращаться.

## Висновки

Таким чином перехід від запитальних систем спостереження до запитальних каналів передачі інформації дозволяє суттєво підвищити імовірність інформаційного забезпечення користувачів системи контролю використання повітряного простору.

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПРОСНЫМИ СИСТЕМАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.В. Свид, Л.Ф. Сайковская, А.И. Обод

*В статье приводится оценка варианта организации информационного обеспечения пользователей системы контроля воздушного пространства на основе преемственного перехода от определения координатной информации воздушных объектов запросными системами наблюдения до передачи координатной информации воздушных объектов, определенной на основе навигационных средств, вместе с полетной информацией по каналу передачи запросных систем*

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, координатная информация, вопросительные системы наблюдения.

## METHOD OF IMPROVING THE QUALITY PROVISION OF INFORMATION INTERROGATION SYSTEMS OBSERVATIONS AIRSPACE

I.V. Svyd, L.F. Saikivska, A.I. Obad

*The article provides an assessment of options to ensure the organization of information system users control of the airspace on the basis of successive transition from the determination of the coordinate information of air objects interrogation surveillance systems to coordinate information transmission aerial objects defined on the basis of navigation aids, along with flight information via a transmission channel for order systems.*

**Keywords:** provision of information, coordinate information, question surveillance system.

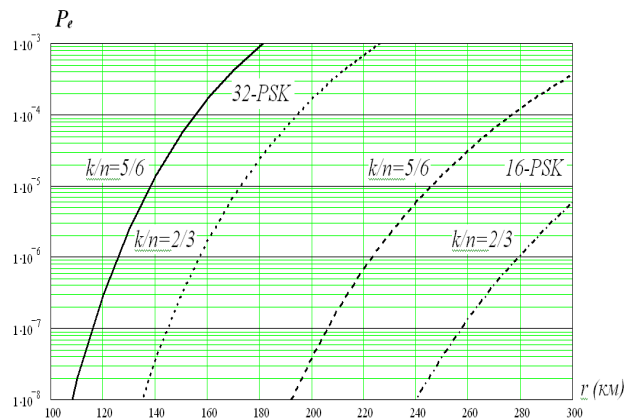


Рис. 2. Імовірність помилки підсистеми

## Список літератури

1. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с.
2. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков та інші.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
3. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
4. Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. – Х.: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.
5. Давыдов П.С. Радиолокационные системы летательных аппаратов / П.С. Давыдов, В.П. Жаворонков, Г.В. Кащеев. – М.: Транспорт, 1977. – 356 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХП», Харків.